

Consecuencias de la aplicación del riego para atenuar los efectos del calentamiento global en el viñedo

L. C. Rodríguez Fernández
C. López Pavón
J.R. Lissarrague

M. Torres Viñals

L. Martínez Arce

Es de vital importancia ampliar el conocimiento de cómo va afectar a al cultivo de la vid las premisas del cambio climático y qué técnicas pueden mitigar sus negativas consecuencias. Con este principal objetivo durante cuatro años se ha estado realizando el proyecto CENIT-DEMÉTER, en el que han intervenido numerosas bodegas y centros de investigación a nivel nacional. Los resultados reflejan que la aplicación de riego es una buena técnica para atenuar las situaciones de estrés hídrico, tanto a nivel de desarrollo vegetativo como a nivel de maduración, adecuando las necesidades particulares de cada zona y añada.

La preocupación por las consecuencias que puede ocasionar a la agricultura el cambio climático, se ven reflejadas en muchos de los estudios que existen en los últimos años. Los modelos climáticos predicen que al final del siglo XXI en Europa Occidental y Central la temperatura del aire puede aumentar hasta 5 °C (en la situación más adversa), unido un incremento en las precipitaciones invernales y un decremento de las estivales, IPPC(2007). Debido a esta situación, la evaporación po-

tencial irá en aumento produciendo una pérdida de humedad en el suelo, lo que aumentará el riesgo de sequías más frecuentes y más severas.

La cuenca mediterránea es una zona de transición climática entre los climas tropicales y los de latitud media, por lo tanto muestra una gran variabilidad a nivel regional y comarcal, (Xoplaki *et al.*, 2004. Lionello *et al.*, 2006). La Península Ibérica se ha considerado como un área aislada de las otras partes de la cuenca mediterránea, ya que



se encuentra entre dos masas de agua en contraste, su topografía es muy compleja, con cadenas montañosas orientado de oeste a este y de norte a sur, además de tener una altitud media alta.

DATOS METEOROLÓGICOS EN ESPAÑA

En el estudio realizado en España para el periodo comprendido entre 1946-2005 (M. de Luis *et al.* 2010), se ha observado que en los últimos 30 años el régimen estacional de precipitaciones ha sufrido importantes cambios al hacer la comparación respecto 1946-1975. De manera general, se observa una considerable disminución de las precipitaciones en las estaciones de invierno y primavera que implica una subtropicalización del clima, jun-

to a un aumento en otoño, convirtiéndose esta estación en la más lluviosa del año. Una menor disponibilidad de agua en el comienzo de la temporada de crecimiento y menor cantidad de agua almacenada implica una mayor probabilidad de sequía en verano, con alteraciones evidentes en los patrones de crecimiento de especies y sus implicaciones evidentes para la agricultura.

Según datos de este año de la Agencia Estatal de Meteorología en España, mientras que entre los periodos 1961-1990 y 1971-2000 la temperatura media a nivel nacional se incrementó en 0,22 °C, entre 1971-2000 y 1981-2010 se incrementó en 0,46 °C, siendo la variación más del doble que la observada entre los dos periodos de referencia anteriores.



Parcela zona mediterránea (Aranyó, TRR)



Parcela zona continental (Roda, R0)

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL VIÑEDO

Este aumento de temperaturas tiene un claro reflejo en la fenología de los cultivos, ya que conlleva a un acortamiento de los ciclos activos de los cultivos, principalmente los de verano, produciendo en el caso del viñedo vendimias más tempranas. Diversos autores han observado esta tendencia, Stock *et al.* 2005, constatan que en los últimos 30 años en Johannisberg (Rheingau, Alemania), el primer día de vendimia se realiza entre 2-3 semanas antes. En Baden (suroeste Alemania), los promedios de las temperaturas anuales de los últimos 10 años fueron de 1,2 °C más alta que el promedio de 1961-1990 (Sigler, 2008). En Francia, Ganichot (2002) en la zona de Chateau-neuf-du-Pape constata que la vendimia se ha adelantado también entorno a 18 días. En la Alsacia (este de Francia) las temperaturas medias anuales aumentaron un 1,8 °C de 1972 a 2002 y este aumento fue especialmente significativo durante la fase de maduración (Duchêne, 2005).

Es importante destacar el hecho de que cada proceso metabólico tiene un rango de temperaturas en las que su funcionamiento es óptimo, fuera del

cual, los rendimientos y la actividad decrecen. Es precisamente por esta razón por lo que un aumento generalizado de temperaturas puede acarrear desajustes en la actividad fisiológica de las vides, que se traducen en crecimientos vegetativos y/o reproductivos anómalos. El proceso vital por el que las plantas obtienen energía para poder desarrollarse es la fotosíntesis que está condicionada por diversos factores entre ellos la temperatura, (según Sánchez de Miguel (2007) el óptimo estaría entre 24 y 32 °C) pero que dependiendo del estrés ambiental los valores óptimos son más bajos. Una disminución de las tasas fotosintéticas conlleva un peor desarrollo foliar que desemboca irremediablemente en disminución de rendimientos y en desequilibrios en el propio metabolismo de los racimos, produciendo bayas con una

maduración industrial más rápida, una disminución de la acidez y un aumento del contenido en azúcar en menos tiempo. Las condiciones del calentamiento global favorecerán además el aumento del contenido en potasio y la elevación del pH del mosto. En general se tenderá a aumentar el desfase entre la maduración de la pulpa y la de la piel, dado que los metabolismos de la maduración aromática y fenólica son más lentos y precisan de periodos más largos.

Consecuentemente los efectos asociados al cambio climático que modifiquen la calidad de la uva, son un desafío para la viticultura y la enología ya que influyen en la calidad final del vino, en particular sobre la expresión de la uva en aromas, la estabilidad microbiológica y química y el equilibrio sensorial (Mira de Orduña, 2010).

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Durante cuatro años (2008-2011) el Grupo de Investigación en Viticultura ha participado en el desarrollo del proyecto CENIT-DEMETER (Desarrollo de Estrategias y Métodos vitícolas y Enológicos frente al cambio climático. Aplicación de nuevas Tecnologías que mejoren la Eficiencia de los procesos Resultantes). Dentro del área de viticultura, el principal objetivo del proyecto CENIT DEMETER era el estudio del efecto de la temperatura y del déficit hídrico, dentro del marco del cambio climático, en el desarrollo de la vid, en la fisiología de las hojas y en el metabolismo de la baya utilizando dos genotipos diferentes, el Tempranillo y el Albariño.

En esta ocasión se muestran únicamente los datos de la variedad tempranillo, principalmente las dos últimas campañas 2010 y 2011 por ser las más representativas.

Las parcelas de ensayo estaban situadas en dos zonas climáticas diferentes, una en la zona Mediterránea en la comarca de Les Garrigues en la finca de Aranyó (Lleida), cedida por Bodegas Miguel Torres cuyo marco de plantación es 2,2 x 1 metro, plantado en el año 2001, injertado sobre 110R, conducido en espaldera. Y la otra con clima Conti-

// EL PRINCIPAL OBJETIVO DEL PROYECTO ES EL ESTUDIO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y DEL DÉFICIT HÍDRICO, DENTRO DEL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO, EN EL DESARROLLO DE LA VID, EN LA FISIOLOGÍA DE LAS HOJAS Y EN EL METABOLISMO DE LA BAYA UTILIZANDO DOS GENOTIPOS DIFERENTES, EL TEMPRANILLO Y EL ALBARIÑO //

mental en la Rioja Alta (Haro), cedida por Bodegas Roda cuyo marco de plantación es 2,6 x 1,3 metros, plantado en el año 1990, injertado sobre 110R, conducido en vaso. El diseño del experimento en ambos casos es igual, en bloques al azar con 3 repeticiones por tratamiento y al menos 60 cepas control por tratamiento y repetición, además de las filas bordes.

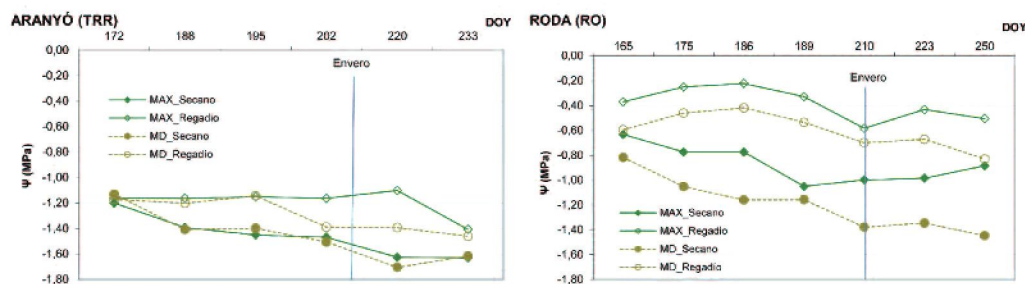
Se establecen dos tratamientos experimentales con dos grados de disponibilidad hídrica con diferencias bien marcadas, T0: NO RIEGO (SECANO): ningún aporte de agua de riego, sólo sujeta a las precipitaciones, y T1: RIEGO: dosis de agua proporcional a la evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial (ET_o), aplicando el método de Penman-Monteith modificado (F.A.O., 1990), con una K_c (coeficiente de cultivo) de 0,45.

Durante los años de estudio se han registrado los datos climáticos de cada parcela de ensayo, así como los datos de los estados fenológicos principales según la escala de Eichhorn y Lorenz (1977), modificados por Coombe (1995).

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS CLIMÁTICAS Y FENOLÓGICAS

En el periodo fenológico comprendido entre envero y vendimia (que corresponde a la fase

FIGURA 1 / Evolución estacional del potencial hídrico foliar (ψ_f , MPa en los días del año, doy) en regadío y secano. Medidas de Máxima y mediodía, 2011.



III del crecimiento de la baya) se observa en la zona Mediterránea que los años 2009 y 2011 registran las temperaturas medias más altas entorno a 24 °C, (Tabla 1), sin embargo no es igual la duración de la fase de maduración siendo muy corta en el 2011 (38 días), debido a la estacionalidad del régimen de precipitaciones, (en la campaña 2009 durante la maduración llovió 49,4 mm frente a la nula precipitación del año 2011 en ese mismo periodo). En contraposición a estas añadidas calurosas está el 2010, cuya temperatura media en maduración se rebaja entorno a los 2 °C, alargando esta fase hasta una duración de 75 días.

En la zona Continental es también el año 2011 cuando se observa un importante aumento de temperaturas en el periodo de maduración (t_{media} 22,8 °C) unido a una importante disminución de las precipitaciones, se traduce en

una reducción de la duración de la fase de maduración y a la realización de la vendimia entorno a dos semanas más pronto de lo habitual de la zona.

ESTADO HÍDRICO DE LAS CEPAS

La situación observada durante la campaña 2011 en ambas regiones refleja las consecuencias potenciales que el cambio climático puede ocasionar en el cultivo de la vid. Para cuantificar el nivel de estrés hídrico que sufren las plantas durante el ciclo, se realizaron medidas de potencial hídrico foliar en dos momentos del día. Una a primera hora de la mañana, cuando las temperaturas están por debajo de los 28-30 °C, en la que es la hora de mayor actividad fotosintética ya que las condiciones ambientales son las más favorables. Y otra al mediodía solar, por ser el momento del

día más exigente de la atmósfera, tanto en temperaturas como en radicación.

La evolución estacional de los valores de potencial hídrico en la región Mediterránea (Figura 1), denota el gran estrés sufrido por las plantas en ambos tratamientos, ya que incluso las plantas regadas alcanzan valores próximos a -1,4 MPa en la hora de mediodía y las de secano se sitúan después del envero de forma continua por debajo de -1,6 MPa, valor que es considerado como estrés severo. Por lo que se comprueba que en esta zona y bajo las condiciones del ensayo, el aporte de riego mejora el estado hídrico de la planta, retrasando el envejecimiento de las hojas y por tanto disminuyendo la senescencia foliar temprana y por ende, mejorando la actividad fisiológica que se traduce en un crecimiento vegetativo y reproductivo más correcto. El Índice de Ravaz resumiría este hecho, ya que es la relación entre el peso de cosecha y el de la madera de poda, su valor durante las dos campañas en el tratamiento regado se ha mantenido entre 5 y 7, frente al secano que ha estado entre 3 y 4 por lo que ha existido un crecimiento más equilibrado en las plantas con riego.

En la región Continental, la evolución estacional del potencial hídrico foliar durante el año 2011 (Figura 1), también refleja un nivel de estrés fuerte para las plantas en secano, principalmente a lo hora de mediodía solar (valores medios de -1,3 MPa).

TABLA 1 / Duración del periodo entre envero y vendimia expresado en días y en Integral Térmica Eficaz (en base 10°C). Velocidad de acumulación de temperatura (grados/día), temperatura media (°C) y precipitación (mm) de los cuatro años de estudio en las dos zonas de ensayo

Año	Envero-Madurez									
	Zona Mediterránea (Aranyó, TRR)					Zona Continental (Roda, RO)				
	Duración	ITE	Grados/día	tmedia	P (mm)	Duración	ITE	Grados/día	tmedia	P (mm)
2008	55	579	10,5	20,5	36,7	49	264	5,4	15,4	45,2
2009	57	797	14,0	24,0	49,4	63	586	9,3	19,3	53,2
2010	75	871	11,6	21,6	44,0	63	482	7,7	17,7	47,4
2011	38	535	14,1	24,1	0,0	52	664	12,8	22,8	18,0

TABLA 2 / Datos de los componentes del rendimiento: rendimiento ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), fertilidad ($\text{rac} \cdot \text{sarm}^{-1}$), peso del racimo (g), número de bayas por racimo y peso de 100 bayas (P100b, g) diferenciando los dos tratamientos hídricos, el incremento del riego en valor absoluto, (Δ riego) y en porcentaje respecto al secano, Δ riego (%). Resultados del análisis de varianza (*, **, * y ns: significativo a $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$ y no significativo, respectivamente). Año 2010 y 2011.**

	Año	Tratamiento	Rendimiento (kg/m^2)	Fertilidad rac/sar	Racimo (g)	Nº bayas /racimo	P100b (g)
Aranyó (TRR)	2010	Secano	0,87	1,2	197,9	120	166,4
		Regadío	1,61	1,3	345,7	170	203,2
		Δ riego	0,74	0,11	147,8	50,5	36,8
		Δ riego (%)	85	10	75	42	22
	2011	sig.	**	ns	***	**	***
		Secano	0,46	1,2	106,6	108	98,7
		Regadío	1,50	1,7	253,9	166	153
		Δ riego	1,04	0,45	147,3	58,6	54,3
		Δ riego (%)	227	37	138	54	55
		sig.	***	***	***	***	***
	2010	Secano	0,52	1,2	198,2	100	198,3
		Regadío	0,87	1,6	246,1	110	223,7
		Δ riego	0,35	0,38	47,9	10,6	25,3
		Δ riego (%)	67	31	24	11	13
Roda (RO)	2010	sig.	**	ns	*	ns	ns
		Secano	0,77	1,7	169,3	175	95
		Regadío	1,47	1,8	310,2	167	187,3
		Δ riego	0,7	0,04	140,9	-7,8	92,3
	2011	Δ riego (%)	90	3	83	-4	97
		sig.	***	ns	***	ns	***

Por contra, las plantas regadas no denotan síntomas de estrés durante el ciclo, por lo que se puede afirmar que el agua no ha sido un factor limitante en el desarrollo de las cepas bajo estas situaciones experimentales.

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

En las plantas los procesos reproductivos son muy sensibles al déficit hídrico, un elevado estrés prolongado produce pérdidas de rendimiento, que son producidos por la interacción de diversas variables. Al observar los datos de los últimos años (**Tabla 2**), se comprueba el efecto positivo de la aplicación de riego en el aumento del rendimiento.

En la zona Mediterránea ese aumento proviene de que existe un aumento de fertilidad (racimos por sarmiento), una mayor tasa de cuajado (bayas por racimo) y bayas con mayor peso



Racimo de Tempranillo. Tratamiento regado (Aranyó, TRR).

cuyo resultado es un mayor tamaño de racimo. Es importante destacar, que aún siendo espectacular la diferencia de cosecha entre los tratamientos en el año 2010 (un 85% más el tratamiento regado), debido a las condiciones climáticas anteriormente comentadas (mayores precipitaciones, temperaturas algo más bajas...) las plantas en secano pudieron mantener un crecimiento y un rendimiento equilibrado. Sin embargo, bajo las condiciones tan exigentes en las que se desarrolló el ciclo en el 2011, produjeron que las plantas no regadas estuvieran muy estresadas y la diferencia entre los rendimientos no fuera sólo una consecuencia del aumento por parte del tratamiento regado, sino también por una importante disminución, ya que el rendimiento respecto al año anterior bajo casi un 50%. Esto hace concluir que bajo las premisas del cambio climático en zonas similares a la del ensayo, las disminuciones de cantidad de uva producida pueden ser excesivas si no se aplican técnicas como el riego que por lo menos, amortigüen esas caídas.

Los efectos positivos en el rendimiento en la zona Continental también se hacen patentes, llegando a aumentar un 90% respecto al secano, debido principalmente en este caso a un mayor peso del racimo y un mayor peso de baya. En esta parcela, no se ha llegado a apreciar un desajuste de crecimiento vegetativo y reproductivo en las plantas del tratamiento secano, así que por lo que se refiere a cantidad de cosecha, la aplicación del riego debe ir encaminada a mantener ciertos valores de rendimiento en función de las condiciones de cada año y por supuesto manteniendo e incluso mejorando la calidad en la composición de la baya.

COMPOSICIÓN FINAL DEL MOSTO

Las condiciones climáticas y

el aporte hídrico han afectado a las cualidades finales del mosto en las dos parcelas de estudio, como se muestra en la **Tabla 3**. En cuanto al crecimiento reproductivo es superior en el tratamiento de riego que en el secano, más acentuado en la anualidad 2011, con un peso de baya superior de 0,5 gramos en Aranyó (TRR) y de 0,9 gramos en Roda (RO), llegando casi a duplicar en este caso el peso de la baya del tratamiento sin riego.

En el año 2010 esta diferencia es menor debido a que las precipitaciones registradas son superiores, siendo el 2011 un año muy seco en el cual no se registraron precipitaciones en los meses de maduración en la zona Mediterránea y muy escasas en La Rioja Alta. Como ya se ha explicado anteriormente, este suceso también tuvo consecuencias en el rendimiento, sobre todo en el caso de la zona Mediterránea, dando lugar a modificaciones en la calidad del mosto. El aumento de las temperaturas medias y la escasa pluviometría durante la maduración en el año 2011 han sido determinantes en la acumulación de sólidos solubles en la baya, alcanzando la madurez en un periodo



Medida de potencial hídrico foliar (Roda, RO).

de tiempo inferior que puede llevar a desequilibrios entre la madurez sacarimétrica y polifenólica, adelantando la fecha de vendimia. El riego en ambas parcelas ha retrasado esta madurez sacarimétrica alcanzando una concentración de sólidos solubles inferior que en los tratamientos sin aporte hídrico. La concentración de ácidos totales también se ha visto modificada, siendo superior en el 2010 debido a las temperaturas más suaves. En región Mediterránea en la anualidad 2011, solo se alcanzó una acidez total de 3,6 g/l ex-

presado en ácido tartárico, aumentando ligeramente en el tratamiento con riego (4 g/l), lo que da lugar a pH altos, que pueden influir en el índice de color. El riego aumenta el contenido de ácidos en la baya dando mayor estabilidad microbiana a los mostos y mejorando la calidad.

CONCLUSIONES

Las estrategias de cultivo del viñedo frente al cambio climático deben de ir dirigidas a atenuar tanto los efectos de la radiación y de las altas temperaturas en

hojas y racimos, como en la medida de lo posible reducir el déficit hídrico y las consecuencias negativas del mismo. Los cuidados deben ser más precisos cuando las zonas vitícolas son más calurosas. El uso del agua es prioritario por la escasez de recursos y su papel decisivo. En general aplicar riegos deficitarios, utilizando métodos adecuados para calcular periódicamente bien las necesidades de agua. Comenzar a regar cuando las necesidades de agua estimadas para las cepas no resulten satisfechas por los contenidos de agua en el suelo. Emplear métodos de control del estado hídrico, utilizar riegos de alta frecuencia aplicados con instalaciones eficientes. Asegurar el área foliar suficiente y activa. Valorar correctamente el tamaño del grano de uva y la conveniencia de parar el crecimiento vegetativo. Prestar especial atención a la aplicación del riego a partir del envero, durante la maduración es interesante mantener un estrés moderado, huyendo de las situaciones extremadamente deficitarias en agua, así como de las dotaciones excesivas, ambas no son recomendables para una correcta maduración y composición de las uvas. El riego puede ayudar a armonizar la maduración de la pulpa y de la piel, atenuar la senescencia foliar y contribuir a evitar el acortamiento del periodo de maduración.

TABLA 3 / Datos de maduración en vendimia, °Brix, pH y acidez tartárica en la variedad dos tratamientos de riego: regadío y secano. (Resultados del análisis de la varianza: *, **, * y ns: significativo a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$ y no significativo, respectivamente). 2010 y 2011.**

	Año	Tratamiento	°Brix	pH	ATT (gTH2/l)
Aranyó (TRR)	2010	Secano	23,1	3,57	4,66
		Regadío	22,9	3,5	5,27
		sig.	ns	ns	ns
	2011	Secano	26,5	3,97	3,65
		Regadío	24,5	3,66	3,95
		sig.	ns	**	ns
Roda (RO)	2010	Secano	24,6	3,81	4,94
		Regadío	23,5	3,65	5,87
		sig.	*	*	*
	2011	Secano	23,9	3,66	4,96
		Regadío	22,4	3,58	6,21
		sig.	ns	ns	*